

Habidite: viviendas modulares industrializadas

Habidite: industrialized modular dwellings

V. Gómez Jáuregui*

RESUMEN

En este artículo se realiza una breve introducción a uno de los sistemas constructivos que más auge está teniendo en los últimos años: la edificación industrializada integral. Realizado a base de módulos tridimensionales, es éste un método de construcción en el cual los edificios se conforman básicamente por medio de células espaciales de grandes dimensiones; estos módulos tridimensionales se elaboran íntegramente en fábrica y, una vez están totalmente terminados, se transportan a obra, donde son montados de forma sencilla y rápida. Aunque no es un sistema totalmente novedoso (de hecho sus antecedentes también serán tratados brevemente en este texto), Habidite apuesta fuertemente por esta tendencia y aporta su grano de arena para conseguir edificios modulares de hormigón armado de extraordinaria calidad, con implementos domóticos totalmente integrados en la vivienda y un alto grado de sostenibilidad, eco-tecnología y eficiencia energética. Se abordan, a lo largo de la exposición, las ventajas que aporta este sistema, con la optimización de los procesos productivos en el sector de la construcción por medio de la implementación de las más avanzadas tecnologías.

195-10

Palabras clave: Construcción, Prefabricación, Industrialización, Modular, Integral, Tridimensional.

1. CONCEPTOS: INDUSTRIALIZACIÓN Vs PREFABRICACIÓN

Antes de entrar en materia, sería conveniente explicar qué significan los términos a los que se refiere la edificación modular, industrializada e integral, pues sus acepciones en algunos casos pueden resultar ambiguas o malinterpretadas según su contexto. Desafortunadamente, aún a día de hoy se

SUMMARY

This paper is an introduction to one of the most relevant constructive systems of the last years: The integral industrialized construction. This method, based on three-dimensional modules, produces buildings made mainly from spatial cells of big dimensions; these three-dimensional modules are fabricated entirely in factory and, once they are finished, they are carried out to the site, where they are assembled in an easy manner. Even though it's not a totally new system (in fact, the precedents will also be mentioned in this essay), Habidite is very confident in backing this tendency and doing its part in order to obtain modular reinforced concrete buildings of extraordinary quality, with domotic implements totally integrated in the dwellings and a high degree of sustainability, eco-technology and energetic efficiency. Many advantages are exposed and explained, dealing with the optimization of the productive processes in construction by means of the most advanced technologies.

Keywords: Construction, Prefabrication, Industrialization, Modular, Integral, Three-dimensional.

siguen confundiendo dos conceptos similares pero diferentes: prefabricación e industrialización. Para entender cómo y cuándo surgió el nacimiento de la industrialización de la vivienda (o de la edificación en general), sería conveniente discernir claramente las diferencias entre estos dos términos. Ya de por sí, la palabra prefabricación aún no ha encontrado cabida en el DRAE (Diccionario de la Real Academia de la Lengua);

* Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Trápaga (Vizcaya, España)

Persona de contacto/Corresponding author: valen.gomez.jauregui@gmail.com (V. Gómez Jáuregui)

pero pese a ello, somos capaces de describirlo como el sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa, conforman el todo o una parte de un edificio o construcción.

Tal es así que, cuando un edificio es prefabricado, las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, y no de elaboración. Una buena referencia para conocer el grado de prefabricación de un edificio es la de valorar la cantidad de residuos generados en la obra; cuanto mayor cantidad de escombros y suciedad, menos índice de prefabricación presenta el inmueble.

Es una paradoja pero, lamentablemente, el término prefabricación sigue teniendo una connotación despectiva, lo cual ya adelantaba el diseñador y arquitecto autodidacta Jean Prouvé, cuando decía que lo que se califica como prefabricado acaba asimilándose a edificio provisional. Y decimos que es contradictorio porque la prefabricación conlleva, en la mayoría de los casos, un aumento de calidad, perfeccionamiento y seguridad.

Por su parte, el término industrialización, que sí que está reflejado en cualquier diccionario, es de acepción bastante más amplia. Se podría definir como el proceso productivo que, de forma racional y automatizada, emplea materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener una mayor productividad. Es importante esta última aclaración, mayor productividad, en lugar de producción masiva, pues la industrialización debería permitir, mediante pequeños cambios en los procesos, la generación eficiente de series pequeñas o unitarias.

Como se puede apreciar, aunque similares, dichos conceptos no significan lo mismo. Sirva como ejemplo muy obvio, el hecho de que se puede industrializar el proceso de enlatado de bonito, pero la elaboración de las latas que se usen para ello no podría constituir en ningún caso un modo de prefabricación. Del mismo modo, la construcción del edificio Habitat 67 para la Expo de Montreal de 1967, se realizó de forma prefabricada, pues se instaló una factoría a pie de obra para conformar los cajones de hormigón armado; estos elementos de grandes dimensiones que constituirían las células de las que se componía el edificio final, fueron conformados en moldes especiales para la ocasión, estacionados en un medio controlado y manejados de forma mecánica. No

obstante, aunque no cabe duda de su carácter de prefabricado, sería difícil considerar a este proceso constructivo como industrializado, por no ser automatizado, en serie o en cadena, masivo, con poca mano de obra o de gran productividad.

Creemos importante recalcar estos conceptos porque desde hace muchos años se vienen utilizando estos términos impropriamente. De hecho, no es extraño toparse con expresiones tan contradictorias como:

- Prefabricados a medida (contra el concepto de que la prefabricación es en serie).
- Edificios prefabricados in-situ (contra el concepto de que in-situ sólo se realiza el montaje)
- Prefabricación artesanal (contra el concepto de que ha de ser en fábrica y con elevada productividad)
- Estructura singular prefabricada (contra el concepto de que ha de ser modular y genérica, no única)

Hay quien, puestos a exagerar, podría decir que una fachada realizada en obra con caravista es prefabricada, ya que los ladrillos se han conformado y cocido en serie en una fábrica alejada de su ubicación final y en obra únicamente se han ensamblado entre sí. En contra de esta afirmación, habría que alegar que, lo mismo que una catedral no es un prefabricado de sillares, una hoja exterior de fachada nunca podría ser considerada un prefabricado por necesitar de mano de obra especializada (caravisteros) y una tarea laboriosa fruto de arduo trabajo.

Como paradigma de todo lo explicado en párrafos anteriores, encontramos el caso de las viviendas modulares industrializadas, actualmente muy en boga gracias a proyectos como el del “Hotel I-Sleep” desmontable, de Luis de Garrido para la Expo de Zaragoza, la “Torre Dinámica” de David Fisher (rascacielos giratorio de Dubai realizado en base a pastillas fabricadas en planta) o el proyecto Habidite de Alonsótegui y Magallón. En todos ellos se habla de “edificación prefabricada” cuando, realmente, debería denominarse “edificación industrializada” o “fabricada”, pues el producto va totalmente terminado a la obra. La comparación más obvia sería la realizada con respecto a la fabricación de trenes; un tren nunca será prefabricado, puesto que los vagones están totalmente terminados en fábrica, pero se han de ensamblar sobre la vía durante su primer montaje. Del mismo modo, un módulo de vivienda está construido íntegramente, con la única salvedad de que, por sus dimensiones y dificultad de transporte, ha de montarse en obra junto al resto de módulos ya terminados. Estaríamos hablando, en ambos

casos, de fabricación industrializada, no de prefabricación.

2. ORÍGENES

2.1. Orígenes de la industrialización y prefabricación

De sobra es conocido que la industrialización, tal y como hoy la conocemos, comenzó en Inglaterra en el siglo XVIII para extenderse por todo Europa y más tarde alcanzar al resto del mundo. Desde aquel momento, sus campos de aplicación han sido numerosísimos: metalurgia, textiles, alimentación, transportes (ferrocarril, automóvil...), agricultura, etc. Hoy en día, es difícil encontrar un sector en el que no se haya introducido de alguna manera la industrialización.

Paradójicamente, la industrialización de la construcción sí que tuvo un comienzo tardío en comparación con otras actividades similares, y sus inicios fueron inciertos y dubitativos por culpa de la inercia establecida en los métodos constructivos tradicionales de la edificación. No ocurrió así con la prefabricación, pues se han constatado ejemplos históricos muy curiosos. Quizás, el primer precedente de prefabricación modular se remonte al siglo XVI, cuando Leonardo da Vinci recibió el encargo de planificar una serie de nuevas ciudades en la región de Loire. Su planteamiento, magistral y chocante por su modernidad, consistió en establecer, en el centro y origen de cada ciudad, una fábrica de elementos básicos que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios; dichas construcciones habían sido diseñadas previamente por él mismo para generar, de forma fluida y flexible, una gran diversidad de tipologías edificatorias con un mínimo de elementos constructivos comunes (1).

Otro curioso ejemplo es el sucedido en ese mismo siglo durante la guerra entre franceses e ingleses, donde el ejército de Francisco I y Enrique II planificó las batallas contra Inglaterra construyendo pabellones de madera prefabricados que albergaran a sus soldados durante la ofensiva. Transportados fácilmente por barco, se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados, de tal forma que los campamentos fueran, además de resistentes y confortables, ágiles en sus desplazamientos. Siguiendo una técnica muy similar, en 1578 también se levantó en la tierra de Baffin (Canadá) una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Asimismo, en 1624, la Great House, una casa de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow en Inglaterra, fue trasladada y montada en Massachusetts, al otro lado del Atlántico (2).

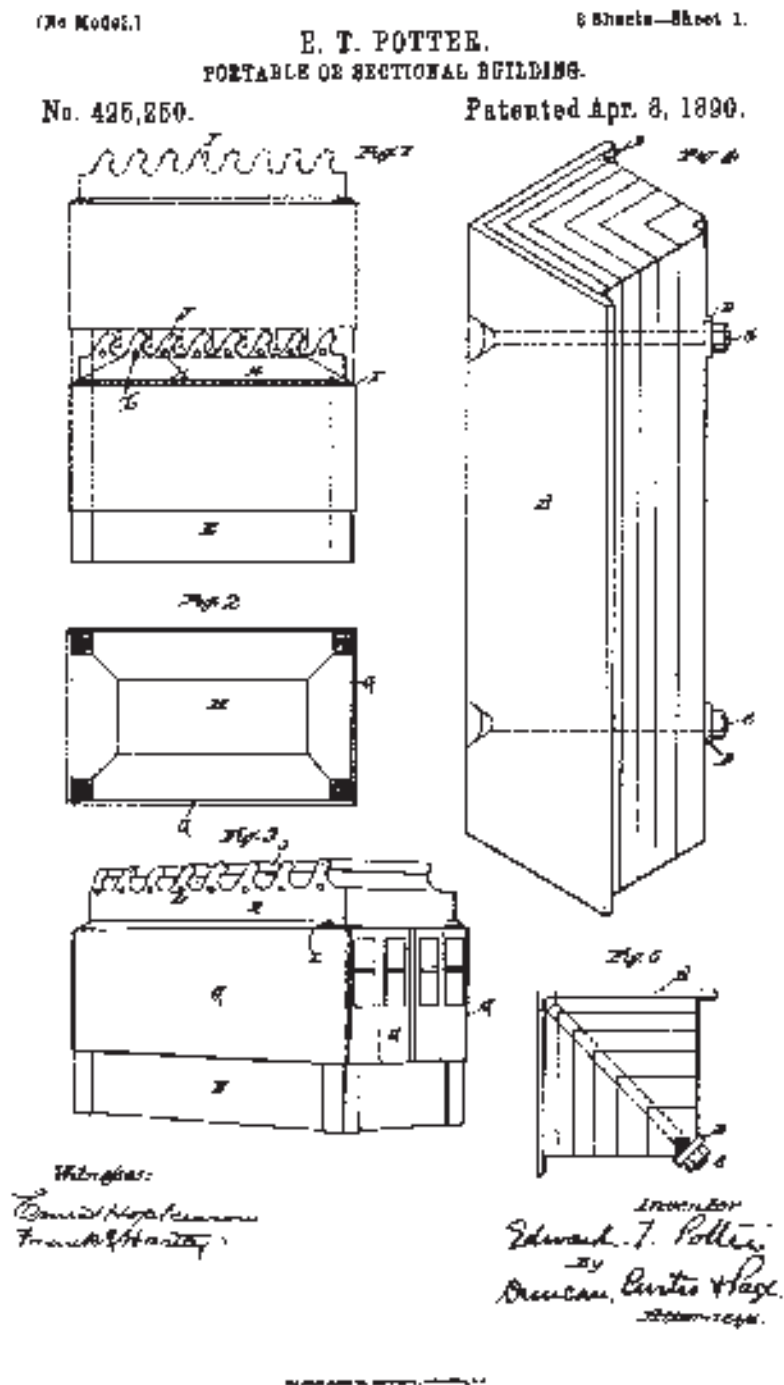
Aunque estos dos últimos ejemplos no se pueden considerar prefabricación en estado puro, ya que la construcción de elementos no fue en serie sino diseñados para edificaciones singulares, sí que se aprecia un valioso cambio de mentalidad aplicada a la construcción. No sería hasta el final del S. XVIII cuando se empezó a vislumbrar la posibilidad de industrializar la construcción; en Europa, mediante la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que sería después aplicado a la elaboración de pilares y vigas de edificios; y al mismo tiempo, en Estados Unidos, mediante la construcción de edificios de tipología "Balloon Frame", constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente.

Hoy en día, cuando se habla de material para prefabricados, el primer nombre que se viene a la cabeza es el del hormigón. Pues aún habría que esperar hasta finales del S. XIX para que se redescubriera el uso de este material (apenas empleado desde los romanos) que aplicado junto con entramados de alambres de acero constituía una materia prima ideal para prefabricados. Tal es así que, tras una primera aplicación para la producción de macetas, en 1892 Edmond Coignet levantó el que parece ser el primer edificio totalmente compuesto por elementos prefabricados de hormigón armado; se trataba del Casino Municipal de Biarritz, diseñado por el arquitecto Calinaud (3). De ahí en adelante, más de cien años de evolución nos han llevado hasta los prefabricados actuales.

2.2. Orígenes de las viviendas modulares tridimensionales

Curiosamente, un par de años antes del nacimiento de esas primeras vigas prefabricadas, hablamos de 1889 (un año antes de que el primer avión echara a volar), ya aparecía en EEUU la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de "cajón" apilable, ideada por el arquitecto estadounidense Edward T. Potter (4). En sus propias palabras, se puede leer en dicha patente: "Mi invención tiene por objeto presentar una vivienda o estancia portátil que, aunque esté adaptada para su uso independiente y conforme en ella misma una estructura completa, es capaz de combinarse con otra u otras más para formar, sin pérdida de espacio, una vivienda o la estructura que se requiera, con habitaciones al mismo nivel o una encima de la otra en diferentes pisos" (fig. 1, pág. siguiente).

Para ello, diseñó una estructura paralelepípeda (cubo rectangular) en cuya cara superior se incluía una celosía de sujeción capaz



1. Patente 1889 Edward T. Potter.

de adosarse y ensamblarse a las vigas de la cara de abajo del módulo inmediatamente superior. Para la estabilidad estructural de los módulos de diferentes niveles, se concibió un sistema de anclaje en base a perfiles angulares acoplados, a modo de pilares, que unían las aristas de esquina de cada célula. Pese a la incierta viabilidad de dicho sistema, lo que sí es cierto es que esta propuesta fue pionera en el campo de la edificación aplicando nuevas técnicas constructivas.

Seguindo esta tendencia, en años sucesivos se presentaron nuevas patentes que describían construcciones modulares en base a

células espaciales apilables y superponibles. En 1919, Clark Noble Wisner (5), presentó una mejora para la construcción de edificios de hormigón, basada en el montaje de un edificio compuesto por el menor número posible de unidades, que serían prefabricadas en hormigón y transportadas a obra para su ensamblaje; curiosamente, en la patente dichos módulos son cilíndricos o al menos con dos de sus caras curvas para poder adosarse a esas unidades de planta circular. Ese mismo año Joseph R. Witzel (6) patentaba otro sistema de edificios modulares en el que módulos de forma cúbica se ensamblaban entre sí para formar bloques de viviendas, factorías u otro tipo de edificios (fig. 2). En este caso, el montaje se realizaba gracias a grandes grúas pórticos y los materiales posibles estaban comprendidos desde el hormigón hasta la madera, pasando por el metal o la arcilla cocida.

Durante estos últimos 90 años se han sucedido muchos avances y la tecnología ha evolucionado descomunalmente. Como dato a tener en cuenta, existen más de 1.200 patentes de módulos de hormigón no integrados en otra estructura, es decir, células espaciales apilables o ensamblables entre sí. Sin embargo, ha sido complicado encontrar el modo de que esta técnica y filosofía constructiva cuajara y se afanzara en el sector de la edificación. Esto no deja de ser extraño puesto que, ya desde entonces, se podían apreciar todas las ventajas que la edificación modular integral conlleva, y que veremos en los siguientes apartados.

3. BREVES NOCIONES HISTÓRICAS

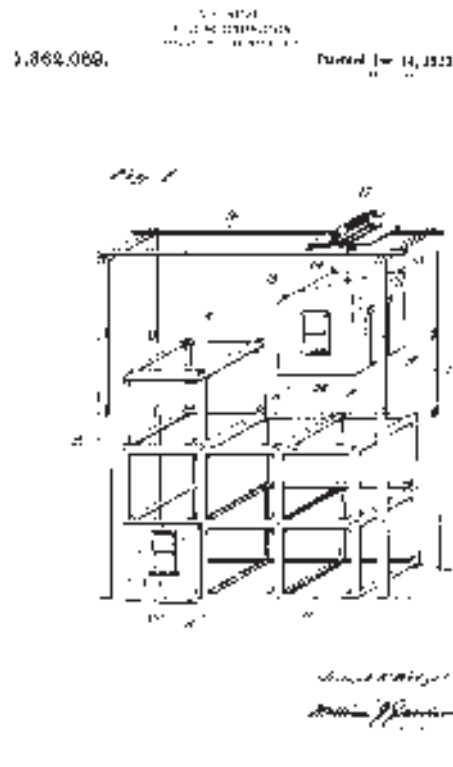
No fue hasta después de la segunda guerra mundial, y auspiciado por la urgente demanda de viviendas ante la escasez y destrucción de las existentes durante el conflicto bélico, cuando la edificación prefabricada empezó a adquirir relevancia y volumen.

Hasta entonces, tan sólo estudios, proyectos y realizaciones puntuales, casi a modo de investigación, habían tomado el pulso al sector de la construcción. Lamentablemente, esa necesidad imperiosa de viviendas y la urgencia para su puesta en obra, así como las limitaciones técnicas y económicas de la Europa y Rusia de posguerra, propició que los estándares de calidad y estética de las mismas rayaran lo mínimamente admisible. Como ya hemos comentado, la prefabricación aún no se ha desprendido del todo de ese sambenito de construcción temporal, mediocre, masiva o impersonal. Uno de los objetivos a la hora de fabricar o industrializar es la de economizar el producto; pero cuando ese producto es prefabricado, el adjetivo “económico” toma tintes despectivos.

Por todo ello, y por algunos otros factores adicionales, la edificación modular no tuvo el éxito esperado. Algunas de las causas de este fracaso se recogen a continuación:

- Dificultad del proceso constructivo: necesidad de conocimientos técnicos avanzados para el diseño, fabricación y montaje de los módulos.
- Problemas de dimensiones en transporte: los gálibos máximos permitidos, especialmente en carretera, así como de carga máxima autorizada, establece unas limitaciones en distribuciones bastante restrictivas.
- Inseguridad en proceso de montaje: bien por cálculo resistente, bien por medios auxiliares de elevación y montaje, también se encuentran limitaciones en el número máximo de pisos posible.
- Necesidad de inversión importante: por ser una fabricación totalmente industrial, sin fabricación a pie de obra, hace falta una apuesta fuerte, que por ello en la mayoría de los casos se antoja arriesgada.
- Módulos inacabados terminados en obra: cuando la elaboración de los módulos no es integral, es decir, cuando no se transportan totalmente terminados y hace falta extender los procesos productivos hasta la propia obra, se pierde gran parte de la rentabilidad y calidad del proyecto.
- Limitaciones geométricas y caras verticales portantes: cuando la estructura resistente de los módulos es de muros portantes, y no reticular a base de pilares y vigas, la necesidad de respetar esos muros portantes confiere al diseño cierta rigidez tipológica y distributiva.
- Sistema empleado en momentos de crisis: debido al contexto en el que estas realizaciones tomaron mayor ímpetu y relevancia, dichas pobreza de las ejecuciones son las culpables de que las viviendas modulares se relacionen con la baja calidad y la provisionalidad.
- Anquilosamiento estético: por lo anteriormente expuesto, y conjugado con las limitaciones distributivas, podría darse un cierto rechazo por parte del público general.

Durante los años 60 y 70 salieron a la luz algunos proyectos con ansias de renovar y modernizar el concepto de vivienda modular. Entre ellos destaca el proyecto Hábitat '67, desarrollado por Moshe Safdie y su equipo técnico para la Exposición Universal de Montreal de 1967. Este conjunto de edificios se asemeja a una maraña de cubos entrela-



zados entre sí de forma aparentemente caótica, de forma que muy pocas viviendas sean iguales entre sí (hasta 15 tipologías diferentes, todas ellas con un jardín sobre el tejado). Ya sólo con esta configuración, se rompe el estereotipo de las restricciones estéticas que imponen este tipo de edificios (fig. 3, pág. siguiente). Por otra parte, nos encontramos con varios bloques de hasta 12 plantas, calculadas para resistir con grado sísmico 3. Las estrecheces geométricas desaparecen, al constituirse células de grandes dimensiones (12 m x 5,33 m x 3 m) y elevados pesos (entre 79 y 90 t), con una superficie de 52 m² construidos. Hay que destacar que fue posible recurrir a imponentes tamaños y pesos puesto que estas grandes piezas no sufrieron transporte, ya que fueron elaboradas a pie de obra con 4 moldes especiales que elaboraban un cajón cada 48 horas (7).

Entonces, ¿por qué no se repitió una obra de características similares en años sucesivos? Sí que hubo hasta cinco intentos de levantar otros Hábitat en otros emplazamientos como Nueva York, Puerto Rico, Israel o Teherán, pero había otros condicionantes que no hicieron viable económicamente estos proyectos. Entre ellos, destaca la gran inversión que era necesaria, pues si no se producen los mismos módulos, no se amortiza el desarrollo del proyecto, la factoría y maquinaria, los moldes, el conocimiento adquirido, la experiencia en mano de obra, etc. Además, en Habitat '67 la fabricación no era integral, ya que los módulos se montaban inacabados y eran terminados in situ: reves-

2. Patente 1919 Joseph R. Witzel.



3



5



4

3. Habitat' 67.

4. Edificio Sirius de Tao Gofers en Sydney.

5. Nakagin Capsule Tower.

timientos, acabados, postensado, soldadura, etc. Y por último, dada su singularidad, el espacio privado suponía 1,5 veces el espacio público, lo cual no permitía sacar suficiente rentabilidad del suelo.

Pese a todo ello, se puede decir que Hábitat '67 fue un punto de inflexión y, a día de hoy, sigue siendo una referencia para proyectos de este tipo, además del hogar de los inquilinos que aún viven allí desde hace más de 40 años.

De la siguiente década, se podría destacar el edificio Sirius de Tao Gofers en Sydney (8) que alberga 79 apartamentos en su arquitectura brutalista (fig. 4), o la más conocida y relevante Nakagin Capsule Tower (fig. 5), hotel de 14 plantas en la ciudad de Tokio (Japón). Esta obra del arquitecto Kisho Kurokawa (9), fue concebida para que sus 140 cápsulas individuales, compuestas estructuralmente de hormigón armado y acero, fueran sustituidas

con relativa frecuencia para poder ir actualizándolas a las tecnologías y tendencias del momento; no obstante, sus actuales inquilinos, propietarios cada uno de su propia célula habitacional, parecen querer negarse a cumplir los deseos originales del creador de sus viviendas por el desembolso económico que les supondría a ellos directamente.

4. SISTEMAS MODULARES PESADOS Vs SISTEMAS MODULARES LIGEROS

Desde entonces y hasta ahora, se han seguido desarrollando proyectos y promociones puntuales de edificios residenciales, individuales o colectivos, de carácter modular e integral, empleando diversidad de materiales además de los ya mencionados, como la madera, el acero, el plástico, las fibras de vidrio o de carbono, etc. En definitiva, estas construcciones se podrían clasificar en dos tipos básicos: sistemas modulares ligeros y sistemas modulares pesados, apartado destinado casi en exclusividad al empleo de hormigón.

A este respecto, el de los materiales, cada una de estas dos grandes posibilidades ofrece ventajas e inconvenientes. No podemos extendernos mucho en este punto, pues él mismo ya podría ser objeto de otro artículo aparte, pero en lo referente a los sistemas ligeros, es evidente que estas soluciones aportan beneficios en lo relativo a la facilidad para su fabricación, sin necesidad de potentes equipos para la manutención de sus componentes, el transporte hasta su ubicación definitiva y la mayor sencillez de su montaje. Por otra parte, una vez terminada la vida útil del edificio, también facilitan las labores de demolición o desmontaje, con la posibilidad de reutilizar o reciclar en obras futuras sus elementos, bien sean de origen metálico, plástico o de madera.

Otra peculiaridad muy interesante de estas tipologías ligeras es que son más susceptibles a la automatización y robotización del ensamblaje de sus componentes (incluidas soldaduras, anclajes mecánicos, encolados, etc.), asemejándose en mayor medida a la fabricación de componentes del sector automovilístico; por su parte, el hormigonado de grandes elementos conlleva mayor mano de obra y alguna fase más artesanal, debido al cuidado y precisión que hay que conseguir en algunas fases delicadas, como la de verter el hormigón, evitando fugas, oclusión de burbujas de aire, desplazamiento de las armaduras, pretensado, etc. Otra posible ventaja respecto a los módulos que tengan las instalaciones embebidas en dicho hormigón, es que cualquier avería en las mismas es más fácilmente reparable, al tener un acceso más inmediato.

En las construcciones modulares de estructura pesada, principalmente hormigón, si bien el peso dificulta las labores de transporte y elevación, al mismo tiempo confiere al conjunto una estabilidad y una resistencia bastante mayores que en los otros casos. Dadas sus características mecánicas, el empleo de hormigón disminuye los movimientos y deformaciones del conjunto, reduciendo también las deformaciones dinámicas y vibraciones. Por añadidura, también aporta mayor aislamiento térmico y, sobre todo, acústico, confiriendo al edificio de una inercia térmica muy interesante en lo relativo a eficiencia energética (10). En general, estas construcciones gozan de mayor durabilidad, mejor envejecimiento y vida útil más prolongada en el tiempo. Todo ello, unido a la mentalidad tradicional del usuario final de una vivienda, hace que en gran número de países los edificios modulares de estructura pesada tengan una mejor acogida comercial.

5. ESTADO DE ARTE. ALGUNAS REALIZACIONES RECIENTES

De entre los distintos tipos de realizaciones habidas hasta el momento, se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: pods, viviendas unifamiliares, edificios en altura y contenedores.

Los dos primeros grupos son los que, por ser más simples en su elaboración y montaje, más repercusión han tenido en los últimas décadas. Los pods, también denominadas unidades técnicas, son módulos de cocina y/o baño que se fabrican monolíticamente mediante un proceso industrial, conteniendo todas las instalaciones de fontanería, electricidad, mobiliario, sanitarios, acabados, etc. Una vez terminados, se llevan a obra donde su montaje es muy sencillo, pues van aco-

plados entre los forjados de la estructura del edificio y únicamente hace falta realizar las conexiones de agua, luz, desagüe, ventilación, domótica (si llevara), etc. Por su parte, las viviendas unifamiliares, compuestas por uno o varios módulos, también están muy extendidas, especialmente en Estados Unidos, Centro Europa y Japón, con el ejemplo de Sekisui IEM o Toyota Homes, una división de la compañía de automóviles que desde 1976 se ha especializado en estructuras resistentes a sismos y terremotos (11). Dado que generalmente no es necesario apilar módulos uno encima de otro, tanto el proyecto como el montaje se caracteriza por su sencillez, y no es difícil encontrar empresas que se especialicen en este campo de la edificación industrializada. En España algunas de las compañías dedicadas a este mercado son Hormipresa, comercializando las casa Icon de la empresa alemana Denert, solución mixta de módulos espaciales y paneles prefabricados (fig. 6, pág. siguiente); Hidrodiseño, fabricación de pods de cocina y baño, es decir, unidades técnicas húmedas con alta densidad de instalaciones de fontanería y electricidad; o Modultec, dedicados tanto a unifamiliares como oficinas o construcciones en altura, como se explicará más adelante.

En los proyectos de edificios de varias plantas, las dificultades técnicas son, obviamente, mucho mayores. No por ello se han dejado de hacer bloques de viviendas, sector servicios y oficinas, centros educacionales, centros sanitarios y residencias, uno de cuyos hitos recientes más espectaculares fue la construcción, por parte de Kullman Buildings Corp., de cinco edificios completos de tres plantas cada uno (fig. 7, pág. siguiente) para alojar un total de 145 estudiantes, en el Muhlenburg College de Pennsylvania (12). No se escapa de esta tipología los edificios penitenciarios, de los que hay fabulosos ejemplos en buena parte de los Estados Unidos (13). Basados principalmente en enormes módulos "campana" (con techo pero sin suelo) de hormigón armado, de 9 metros de largo, 3,70 de ancho y más de 40 t, consiguen reducir a la mitad los costes de construcción y a 8 meses los plazos de ejecución de un edificio completo. A nivel nacional se podría destacar, además de Habidite, a Compact Habit (14), especializada en módulos diáfanos de hormigón armado de 10 x 4 m, cuyas instalaciones se integran en una sola pared técnica, así como la empresa Modultec (15), dedicada a la construcción modular con estructura metálica, y estando ambas abarcando el campo de los edificios residenciales en altura.

También existen otras empresas, como IDM, Cabisuar, Meltec, Alco, Caracola o Algeco,



6. Tipologías de viviendas unifamiliares de Icon-Haus, por Dennert. (Imágenes tomadas de www.icon-haus.de).

7. Residencia en el Muhlenburg College de Pennsylvania, Kullman Buildings Corp.



7

que ofrecen soluciones más ligeras y sencillas con pretensiones no tan avanzadas como las otras.

Otra tendencia en el campo de la modularidad es la de la reutilización de contenedores de acero utilizados en la industria ma-

6

rítima que, apilados y yuxtapuestos los unos a los otros, generan edificios susceptibles de albergar oficinas, residencias, hoteles, etc. (16).

En algunos casos, como el de la cadena hotelera Travel Lodge en Londres, los contenedores son integrados dentro de una estructura de acero portante a modo de esqueleto; en otros casos, como el de Best Rest Hotels en Zaragoza, se apoyan unos directamente en los otros para, una vez unidos mediante anclajes mecánicos, conformar edificios resistentes y homogéneos.

Esta línea misma es la que, a nivel nacional, emplea la empresa Habitainer o el proyecto de Arquitectos Asociados en Marrozos (Galicia), dedicado a taller de investigación y vivero de empresas rurales (17).

El resultado cumbre de toda esta ideología, tecnología y filosofía constructiva se materializa en un proyecto estrella que hemos mencionado en párrafos precedentes: la Torre Dinámica de David Fischer (fig. 8). Se trata de un rascacielos modular de 420 metros de altura, en el que cada piso puede girar 360 grados, de manera independiente y a diferente velocidad, todos ellos en torno a una

misma columna central. Ubicada en Dubai, está previsto que su construcción finalice en 2010.

Será el primer rascacielos en ser completamente construido en una fábrica mediante elementos modulares; esto requerirá tan sólo 600 empleados en la elaboración y el ensamblaje, más 80 técnicos en obra para la supervisión, en vez de los 2.000 trabajadores que serían necesarios en un proyecto de tamaño similar empleando el sistema tradicional de construcción.

6. VENTAJAS DE LA EDIFICACIÓN MODULAR INDUSTRIALIZADA

A continuación se enumeran algunas de las bondades que ofrecen los sistemas constructivos que se están tratando en este texto:

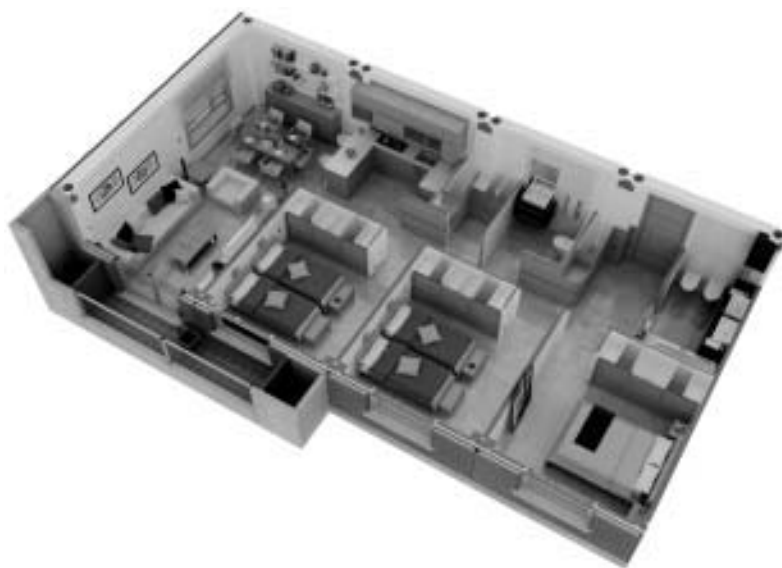
- Optimización: aprovechamiento óptimo de todos los recursos que entran en juego (materiales, tiempo, dinero, energía, etc.) debido a la industrialización de un producto casi artesanal (la vivienda).
- Rendimiento: mejora de aprovechamiento de materiales, tiempos de ejecución, plazos de entrega, condiciones de financiación, productividad por reducción de bajas y absentismo laboral, etc.
- Independencia de la climatología: ejecución de labores en taller en su 95%, por lo que se reducen los paros debidos a condiciones meteorológicas adversas y se mejoran las condiciones de trabajo de los empleados.
- Modulabilidad: posibilidad de conseguir inacabables tipologías de edificio con unos pocos módulos tipo.
- Calidad: empleo de las tecnologías más avanzadas en cuanto a instalaciones, acabados, domótica, confort, etc.
- Exactitud: durante el mantenimiento, para acceder a las instalaciones, conductos, tuberías, etc. se tiene la certeza de que están localizados exactamente donde indican los planos de construcción.
- Limpieza: producto acabado y limpio desde su origen hasta su puesta en obra.
- Ahorro de materiales:
 - Optimización de cantidad de material empleado en cada elemento
 - Disminución radical de escombros y restos
 - Reutilización de productos de desecho
- Industria: creación de un nuevo tipo de industria y generación de puestos de empleo en mejores condiciones de trabajo con drástica reducción de riesgos laborales y mayor facilidad para las mujeres en lo que respecta a su incorporación al sector de la construcción.



8

8. Torre Dinámica de David Fischer en Dubai.

- Simultaneidad: es posible solapar la fase de gestión de suelo con la de la ejecución material de las viviendas.
- Control del proyecto: es posible tener un control exhaustivo de los tiempos de ejecución y del coste final del proyecto, reduciéndose drásticamente las desviaciones en la fase de construcción.
- Exportación: los edificios producidos en fábrica pueden ser comercializados en todo el planeta, por lo que el sector no estaría tan afectado por crisis locales o nacionales gracias a la demanda de producto de mercados exteriores.
- Minimización del impacto de la obra: ya que desaparecen las ejecuciones "in situ", se eliminan los focos contaminantes; se disminuye el impacto acústico en tiempo e intensidad; se reduce el impacto visual de la obra en tiempo y volumen (andamiajes, escombros, vallados, etc.).
- Menor contaminación: disminución del tráfico pesado de camiones a la obra, estando éste limitado al transporte de los módulos ya terminados, limpios y perfectamente embalados. Se reduce así la contaminación ambiental y acústica.



9. Tipología viviendas Habidite.
10. Foto interior prototipo Habidite.

7. EL SISTEMA CONSTRUCTIVO HABIDITE

7.1. Introducción

Como se ha venido explicando en párrafos anteriores, el sistema desarrollado por Habidite contempla la fabricación de los distintos elementos que conforman un bloque de viviendas en un medio controlado y estable, como es una planta industrial, por medio de un proceso de producción en serie. Los edificios desarrollados a partir de este sistema son el resultado de la combinación de módulos fabricados en hormigón armado, cuyo peso y medida permiten el transporte a través de medios convencionales (camión, barco, tren...). Los módulos conforman estancias habitables, conteniendo todas las instalaciones y acabados necesarios para su utilización. De momento se ha conseguido

plasmar este concepto en un prototipo de vivienda a escala real, y ya existen emplazamientos concretos para levantar las dos primeras fábricas en Alonsótegui (Vizcaya) y Magallón (Zaragoza).

Es digno de resaltar la polivalencia de sus usos: centros sanitarios, hoteles, residencias, centros penitenciarios, edificios educacionales, etc. En el desarrollo de edificios residenciales, la combinación modular permite obtener numerosas y variadas distribuciones: desde apartamentos de una única habitación, hasta edificios unifamiliares, pasando por viviendas de tantos dormitorios como se quiera. Asimismo, es posible elegir también distintas configuraciones de cocinas (americana o independiente) y estancias complementarias (aseo, vestidor, trastero, área de trabajo, etc.), mediante la unión de tantos módulos como sea necesario (fig. 9).

9

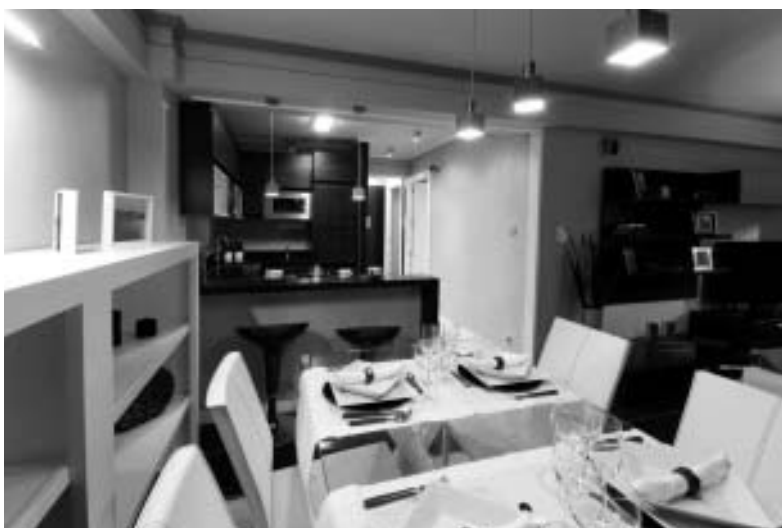
Estas células destinadas específicamente a estancias de viviendas, se complementan con otras de terraza, huecos de ascensor, escaleras, distribuidores o cubiertas, para conformar el edificio en su conjunto, contando ya con todas las instalaciones integradas desde su fabricación, como pueden ser las sanitarias, eléctricas, domóticas, de calefacción, de aire acondicionado, etc.

7.2. Los elementos del sistema constructivo

La estructura del edificio hasta la cota cero (garajes, bajos, locales, cimentación, etc.) se realiza in situ en obra mediante los métodos habituales en la construcción. Cuando se trata de bloques de varias plantas, la primera de ellas va apoyada en un entramado de vigas prefabricadas adaptadas para soportar el peso del resto del inmueble. Estos elementos pretensados, realizados en fábrica y trasladados a obra por transporte convencional, se apoyan en los pilares de la estructura, realizados en obra o también prefabricados. Existen básicamente tres tipos de módulos: de vivienda, de terraza y de cubierta. Los dos primeros se corresponden con los habitáculos destinados a residencia (fig. 10), mientras que el tercer grupo engloba los componentes que sirven de coronación superior del edificio.

Los módulos de vivienda cuentan con una estructura portante principal basada en una solera horizontal nervada, cuatro pilares verticales en las esquinas de ésta, cuatro vigas superiores perimetrales y una losa apoyada en éstas a modo de techo, con dimensiones finales de 6,60 x 3,30 x 3,00 m. Los tabiques perimetrales e internos, que configuran las distribuciones de la vivienda, sirven de arriostramiento y rigidización del conjunto.

10



Un dato fundamental es que dentro de cada pilar va embebida una Pieza Polivalente de Pilar (PPP), es decir, cuatro PPP por cada módulo, cuyas funciones serán enumeradas más adelante.

Los módulos de terraza también se elaboran íntegramente en fábrica, y se anclan al módulo de vivienda antes de ser transportados a la obra. Son módulos autoportantes de dimensiones menores a los de vivienda, y se diferencian de éstos en que, en vez de ir apoyados unos sobre los otros, van en voladizo anclados a los laterales de los módulos de vivienda anexos. Por su parte, los elementos de cubierta, también modulares, sirven de coronación al edificio para la recogida de aguas pluviales. Sus dimensiones en planta coinciden exactamente con las de los módulos de vivienda; de hecho, se apoyan sobre la última planta habitable del edificio.

El funcionamiento de la cubierta es tal que permite recoger toda el agua de lluvia caída en la azotea y canalizarla hasta las placas de cubierta centrales, que constan de orificios por donde se conducen a las bajantes de pluviales. Con el objeto de obtener un absoluto aislamiento térmico, acústico y la impermeabilización de los módulos de fachada y módulos de esquina, se instala en fachada un panel exterior de hormigón armado totalmente independiente y versátil, con un revestimiento superficial capaz de adoptar cualquier tipo de material, obteniendo una eficaz fachada ventilada.

La solución constructiva Habidite pretende obtener el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales así como un diseño con el que se minimice el consumo de agua y energía.

Es por ello que las instalaciones se han diseñado de manera que el consumo de los recursos durante el proceso de diseño, ejecución, uso y fin de vida se produzca de forma que se cumplan los parámetros de sostenibilidad. Todas ellas están contempladas en el diseño en fábrica de los módulos, y además de las convencionales de electricidad, gas, fontanería y calefacción (por suelo radiante), destacan la instalación solar térmica, solar fotovoltaica, climatización, recuperación de aguas pluviales, recuperación de aguas grises, protección contra incendios y domótica (con creación de ambientes, control remoto de la vivienda, ahorro de energía, sensores, actuadores, etc).

7.3. El hormigón como material estructural

Debido a los requisitos de resistencia, diseño, puesta en obra, fabricación, seguridad laboral, etc., el material idóneo para confor-

mar estas células tridimensionales es el hormigón autocompactable (HAC). Su principal característica es la capacidad para fluir y rellenar cualquier recodo y rincón del encofrado a través del armado, simplemente por la acción de su propio peso, sin la necesidad de métodos adicionales de compactación o vibración y sin segregación o indicios de bloqueo.

Otra particularidad requerida es la ligereza, aportada mediante la inclusión de árido y/o arena ligera (arcilla expandida), así como de aditivos necesarios (superplastificantes y cohesionantes) para evitar que dichos materiales floten en la masa de hormigón y que se mantenga siempre la fluidez requerida (fig. 11). Con esto se obtiene un hormigón ligero autocompactable (HLAC), materia prima ideal para cualquier prefabricador.

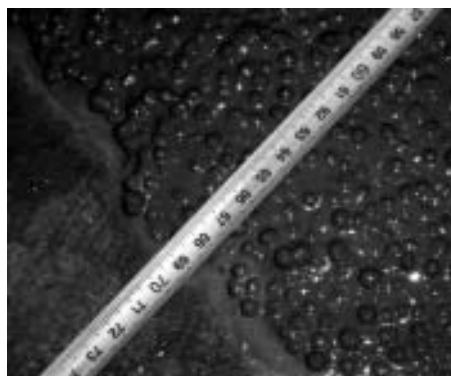
Para obtener ritmos de producción elevados y una determinada frecuencia en los ciclos de hormigonado es condición sine qua non que la resistencia del hormigón a edades tempranas sea suficientemente elevada como para que el desmoldeo se produzca con suficiente garantía.

Parece pues inevitable el empleo de aditivos especiales (acelerantes), de cemento con proporciones y características específicas y de un sistema de curado adecuado y óptimo.

Se puede intuir que este tipo de hormigón puede ser susceptible de importantes deformaciones diferidas y retracciones indeseadas; sin embargo, estos valores son limitados a valores aceptables gracias a una dosificación adecuada de todos los factores que entran en juego durante su fabricación y, no menos importante, durante su curado.

7.4. La producción industrializada

Aunque la principal línea de fabricación sea la del módulo, en la planta industrial existen varias cadenas de producción móvil, se-



11. HLAC Hormigón Ligero Autocompactable.

cuenciales y en continuo movimiento. Estas otras son líneas auxiliares donde se fabrican en paralelo elementos que posteriormente se incorporan al módulo principal, como son las escaleras, balcones, techos, fachadas, cubiertas y vigas de arranque.

En este sentido, Habidite está incorporando a su proceso de fabricación el montaje en cadena que ya adoptara originariamente Henry Ford en su fábrica de coches en 1913. Henry Ford no inventó ni el automóvil ni la línea de montaje, pero supo unir ambos conceptos en un tiempo en que parecía imposible hacerlo. Habidite tiene la intención de hacer lo mismo con la edificación de viviendas industrializadas.

Existen básicamente tres zonas en la línea de elaboración de un módulo: en la primera de ellas se realiza el moldeo de la solera, se replantea la pieza polivalente de pilar (PPP) y se incluyen los tags de RFID que acompañarán al módulo durante todo su ciclo de vida; en la segunda se colocan las instalaciones y armado y se hormigona el conjunto de la estructura de hormigón del módulo, incluyendo tabiques perimetrales; y por último, en la tercera, se realizan todo el resto de procesos que consiguen que el módulo salga totalmente terminado y embalado para ser transportado al edificio de destino. En esta última zona se realizan los procesos, entre otros, de colocación de instalaciones adicionales, elementos auxiliares (paneles de fachada, balcones, escaleras, etc.), revestimientos, techos, pintura, etc.

Una vez pintado y finalizado el interior del módulo, se procede a colocar las cajas y registros de las instalaciones, a colocar sanitarios, electrodomésticos, muebles de cocina y baño, armarios empotrados, etc. Posteriormente se configuran los enlaces y conexiones domóticas para el control integral de las funciones básicas de la vivienda, incluyendo una pantalla táctil. Con todo ello se puede realizar el control de ambientes (luz, temperatura, hilo musical, etc.), aumentar la seguridad (simulación de presencia, cámara de vigilancia incorporada, alarmas de intrusión), control climático y de ahorro energético (calefacción y refrigeración por suelo radiante, así como gestión de persianas automática), control remoto de la vivienda mediante el teléfono móvil, PDA u ordenador, etc. Finalmente, sólo resta por realizar los remates, incluyendo limpieza final, control de calidad y embalaje.

7.5. Transporte y ensamblaje

Las solicitudes más importantes a las que se van a ver sometidos los módulos (aceleraciones, vibraciones, impactos, etc.) se va

a producir durante su transporte, por lo que ésta es una fase crítica. No obstante, se puede emplear cualquier tipo de transporte convencional: camión, tren, barco, etc. Eso sí, se prevé que cada pieza vaya perfectamente embalada, etiquetada y catalogada, para evitar suciedades, roturas, pérdidas, etc.

La elevación de los módulos ya embalados es generalmente con grúa, por medio de balancines de nivelación que aseguran la horizontalidad de los módulos en cada momento. Dichos balancines son armazones metálicos cuyos puntos de sujeción dibujan un rectángulo homotético a la planta de cada módulo. El trincaje a las esquinas de éstos es por medio de un útil especial de elevación que se encaja a cada una de las PPP, asegurando así que antes y después del transporte, cada una de las piezas se pueda manipular con la mayor rapidez, precisión y seguridad.

Una vez se ha retirado el envoltorio de la mercancía en la obra, el montaje de los módulos sigue un proceso que se consigue gracias a la misión polivalente de la PPP, que se encarga de la elevación, aproximación y colocación, empotramiento, nivelación, anclaje mecánico entre módulos (y fachadas o balcones) y hormigonado de conexiones horizontales y verticales. A posteriori se prosigue con la conexión de instalaciones y la colocación de cubrejuntas exteriores e interiores para culminar la totalidad del edificio.

7.6. Resultados

En definitiva, con el sistema constructivo Habidite para edificación modular industrializada conduce al sector de la edificación a un estado de la técnica propio del siglo XXI. Además de conseguirse todos los beneficios expuestos en el párrafo anterior, se obtienen algunos otros adicionales que se enumeran a continuación:

- Versatilidad: acabados susceptibles de cambios, fachadas acondicionadas a diferentes estéticas, gamas distintas de materiales, colores, texturas, diseños, etc.
- Ahorro energético:
 - empleo de energía solar térmica,
 - empleo de energía solar fotovoltaica,
 - optimización de energía calorífica en calefacción y agua caliente,
 - aislamiento térmico e impermeabilización,
 - menor gasto de electricidad de la red
- Ahorro hídrico:
 - aprovechamiento de agua de lluvia para cisternas de inodoro,

- reciclado de aguas grises (ducha, lavabo, etc.) para cisternas,
 - últimas tecnologías en sanitarios para ahorro de agua.
- Normativa: adaptación automática a todas la normativas, aportando mejoras sustanciales a algunas de ellas (p.ej. CTE de España).
- Respeto medioambiental:
- Cubiertas ajardinadas,
 - Reducción de empleo de combustibles fósiles,
 - Empleo de materiales no dañinos para el medio ambiente.
- Control de calidad: gracias al empleo de tecnología RFID (identificación por radiofrecuencia) se tendrán controlados a los elementos a fabricar durante toda la cadena de producción, en el almacén, durante el transporte, montaje y, una vez en su ubicación definitiva, será posible saber qué módulo es, cuándo y cómo se hizo y de ese modo obtener la trazabilidad total de todos sus componentes.

8. PRIMER PROTOTIPO HABIDITE

El pasado mes de diciembre de 2007 se comenzó la fabricación del primer prototipo Habidite en el taller que la empresa tiene en Trápaga, que culminó en mayo de 2008; en ese momento, se transportaron hasta las instalaciones centrales del Grupo Afer en Ortuella, para ser ensamblados definitivamente antes de su exposición pública. La presentación de dicha vivienda modular de hormigón armado se realizó exitosamente el 4 de junio de 2008. Se trata de una vivienda compuesta por tres módulos independientes de 6,6 x 3,3 m, que junto con dos elementos de terraza, conforman una superficie total de 65 m² (Fig. 12).

El prototipo consta de salón, cocina, dos habitaciones y un completo cuarto de baño, estando dotado de los más avanzados implementos domóticos y un alto grado de aplicación tecnológica.

Con la construcción de este prototipo, se ha logrado un hito más en la carrera de Habidite por demostrar que la construcción de viviendas modulares es, no solamente posible, sino además recomendable para asegurar que las viviendas del futuro dispongan de los mayores niveles de calidad que se puedan obtener en un entorno controlado.

En el futuro, cuando la ejecución de todos estos procesos se realice de forma industrializada, a estos niveles de calidad se le sumarán los innegables valores de seguridad,



12

eficiencia, ahorro energético, hídrico y de materiales, reducción de plazos, etc. (18).

12. Foto exterior prototipo Habidite.

9. CONCLUSIÓN

En su manifiesto acerca de la arquitectura futurista, escrito en 1914, Antonio Sant'Elia auguró una nueva arquitectura con estas cualidades: revolucionaria, elástica, ligera, expandible, activa, móvil y dinámica. El sistema constructivo Habidite comparte un poco de cada una de estas características:

- revolucionaria, por su innovación, su concepto rompe con la edificación tal y como se ha concebido en los últimos siglos,
- elástica, por su capacidad para adaptarse a diferentes tipologías edificatorias,
- ligera, pese a que cada módulo pueda pesar 25 t, ¿cuándo se ha visto que un edificio de 5 plantas pueda transportarse en camión?,
- expandible, por ser modulable en grado extremo, con la capacidad de adosar nuevos módulos a tipologías existentes,
- móvil, por ser un producto que se ejecuta en las instalaciones apropiadas y que se transporta a su punto definitivo, en donde se realizan los mínimos remates indispensables para el buen funcionamiento del conjunto,
- activa y dinámica, los diseños, los acabados, las técnicas e incluso los procesos constructivos pueden evolucionar en función de las tendencias arquitectónicas, los desarrollos de I+D, las nuevas tecnologías y los materiales más novedosos.

A modo de conclusión, y parafraseando las palabras de J. Balladur, coincidimos con él en que “como la lengua de Esopo, la industrialización del edificio puede ser la mejor o la peor de las cosas. Según el camino que sea tomado, conducirá a la arquitectura hacia nuevos horizontes o a la precipitación en la más baja de las mediocridades.”

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Ceballos-Lascuráin, H. La prefabricación y la vivienda en México. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Arquitectónicas, 1973
- (2) Aguiló Alonso, M. et al. Prefabricación: Teoría y práctica. Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1974.
- (3) Collins, P. Concrete. The Vision of a New Architecture. McGill-Queen's University Press, Montreal, 2004.
- (4) Potter, E. T. Portable or Sectional Building, U.S. Patent No. 425.250, 8 abril 1890.
- (5) Wisner, C. N. Improvements in and related to Concrete Buildings, G.B. Patent No. 144.913, 24 junio 1920.
- (6) Witzel, J. R. Building Construction, U.S. Patent No. 1.362.069, 14 diciembre 1920.
- (7) Canadian Architecture Collection, Habitat '67. McGill University, Canada. [on-line] <http://cac.mcgill.ca/safdie/habitat>
- (8) Hutchinson, C. "Brute Force". Wallpaper. London (UK), pp.231-233
- (9) Kurokawa, K. Nakagin Capsule Tower. Kisho Kurokawa Architect & Associates , Tokio. [on-line] <http://www.kisho.co.jp/page.php/209>
- (10) Gómez Jáuregui, V. y Elorrieta, O. "Modular buildings of light, pre-stressed self-compacting concrete", Concrete Plant International. Colonia (Alemania): Ad-Media GmbH, nº 5 (2007), pp. 154-158.
- (11) Prewer, J. "Smart Parts", Northern Ireland Housing Executive, Belfast (2000), pp.17-20
- (12) Schlen, J. "Built in no Time", New Jersey and Co, 15 enero (2008)
- (13) Oldcastle P.M.G. "Centros penitenciarios orientados a las necesidades prácticas", Concrete Plant International. Colonia (Alemania): Ad-Media GmbH, nº 6 (2005), pp. 160-161.
- (14) Sin autor. "Construcción industrializada de viviendas mediante módulos apilables tridimensionales", Arte y Cemento, nº 11 (2007), pp. 118.
- (15) Avellaneda, J y Aguiló, C.. "De 1267 productos a 80 componentes. Construcciones Industrializadas", Quaderns d'arquitectura i urbanisme, nº 251 (2006), pp.84-89.
- (16) Varios Autores, "Prefabulous London. The A to Z of modern city homes", The Building Centre Trust, Londres (2006).
- (17) Ansele, M. "Contenedores Humanos", NaN Arquitectura y Construcción, nº 26, Octubre (2007), pp. 34-43.
- (18) Gómez Jáuregui, V. y González Poggi, L.J. "The first prototype of concrete modular dwellings", Concrete Plant International. Colonia (Alemania): Ad-Media GmbH, nº 5, octubre (2008), pp.156-158.

* * *